

EL PAPEL DE LAS TIC EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN SECUNDARIA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA PRÁCTICA CIENTÍFICA

Víctor López Simó, Digna Couso Lagarón, Cristina Simarro Rodríguez, Anna Garrido Espeja, Carme Grimalt Álvaro,
Maria Isabel Hernández Rodríguez i Roser Pintó Casulleras
CRECIM – Universitat Autònoma de Barcelona

RESUMEN: Ante el amplio abanico de TICs disponibles en las clases de ciencia, el marco de la práctica científica y sus tres dimensiones (modelización, indagación y argumentación) ayudan a definir el papel de estas herramientas digitales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en secundaria. En este artículo se discute qué implica promover la práctica científica en el aula de ciencias mediante el uso de TICs, clasificando estas herramientas en función de la actividad que facilitan o promueven: recoger y analizar datos experimentales, visualizar y analizar fenómenos virtuales, expresar modelos con soporte digital, y compartir información para argumentar en ciencias. A continuación, se discute qué tipo de herramientas pueden ser especialmente privilegiadas en cada uno de los principales momentos didácticos clave necesarias para una buena secuencia de enseñanza – aprendizaje.

PALABRAS CLAVE: Práctica científica, TIC, herramientas digitales, laboratorio.

OBJETIVOS: Con este primer artículo del simposio “TICs en la enseñanza de las Ciencias” pretendemos discutir el uso de las TIC en las clases de ciencias, especialmente en secundaria, tomando como referencia el marco de la práctica científica en el aula (Osborne, 2014). Con ello, esperamos responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué papel pueden jugar las diferentes herramientas digitales en el aula de ciencias desde el marco de la práctica científica?
- ¿Cómo y cuándo utilizar estas herramientas en una secuencia didáctica?

TICS EN LAS CLASES DE CIENCIAS: ¿CUÁLES Y PARA QUÉ?

Vivir en una escuela (y una sociedad) cada vez más digital permite usar tecnologías de la información y la comunicación (TIC) cada vez más variadas tanto en dispositivos como en redes y aplicaciones, que permiten un intercambio y almacenamiento de información más rápido, multidireccional y multimodal, así como una mayor interacción entre personas, comunidades y contextos. El **aula de ciencias** no escapa de este cambio, y lejos ya de la anticuada “aula de informática”, las aulas pueden enriquecerse con ordenadores portátiles, smartphones, tablets, proyectores, pizarras digitales o smartTVs (Hennessy & London, 2013). Muchas tareas de aula “analógicas” (como tomar apuntes, realizar ejercicios

de lápiz y papel, escribir con tiza en la pizarra, consultar información en libros impresos, etc.) se han sustituido por el uso de libros digitales, herramientas ofimáticas y de creación de contenidos multimedia, videojuegos, apps educativas, EVAs, etc., y todo ello soportado en la nube y conectado a red. Lo mismo ocurre con el **laboratorio escolar**, que puede verse enriquecido y complementado con sensores periféricos para medir a tiempo real que agilizan la recogida y análisis de datos sobre un fenómeno experimental (Sassi, Monroy, & Testa, 2005), pero también sensores remotos para recoger datos de fenómenos que ocurren fuera de la escuela, así como cámaras de video y lupas digitales, etc. A su vez, el trabajo experimental se ve complementado con animaciones, simulaciones y laboratorios virtuales, que además de su interactividad y multimodalidad, permiten superar las barreras de tiempo, coste, complejidad y seguridad (Hennessy, Deane, & Ruthven, 2006; Pintó & Gutiérrez, 2004). Incluso el propio móvil se le considera cada vez más como un “pequeño laboratorio de bolsillo”, ya que incorporan sensores internos: cámara fotográfica, micrófono, geolocalización, acelerómetro interno, etc. Finalmente, las llamadas tecnologías creativas (programación, robótica, tecnología 3D, etc.) son cada vez más corrientes en el aula, a menudo vinculadas al paradigma STEM que también ha irrumpido recientemente con fuerza.

Sabemos que el uso de TICs no implica *per se* una mejora de los procesos de enseñanza (Jimoyiannis, 2010; Valiente, 2010), e incluso que existe el riesgo que según como se incorpora esta tecnología esto pueda suponer una vuelta a enfoques pedagógicos más tradicionales o transmisivos (Liu, 2011), y por lo tanto el reto es comprender qué función pueden tener estas herramientas para que aporten un verdadero valor añadido a las clases de ciencias (Hennessy et al., 2007; Webb, 2005). Con el objetivo de definir o analizar su función educativa, durante más de dos décadas se han propuesto maneras de analizar el amplio abanico de TICs existente (de dispositivos, aplicaciones, entornos, lenguajes, etc.). En la Tabla 1 resumimos algunas de las clasificaciones más relevantes:

Tabla 1.
Principales clasificaciones propuestas para las TIC educativas

AUTORES	DIMENSIÓN	CATEGORÍAS	EJEMPLOS DE TIC
Papert (1999)	Según la relación del estudiante con la autoría del contenido	TICs que presentan contenido que el estudiante recibe y consume	Reproductores de videos y animaciones
		TICs que permiten al estudiante producir	Editores de videos y animaciones
(Zhao, 2003)	Según el grado de especificidad respecto la disciplina escolar	TICs específicas para ciencias	Simulaciones y microscopios
		TICs generalistas para cualquier área	Pizarras digitales y programas de ofimática
(Hofstein & Lunetta, 2004)	Según la naturaleza real o virtual de los fenómenos asociados a su uso	TICs que tratan con fenómenos reales	Sensores para recoger datos en experimentos reales
		TICs que tratan con fenómenos virtuales (simulados)	Laboratorios virtuales que simulan experimentos
(Pintó, 2009)	Según la concepción implícita de aprendizaje	TICs con enfoque transmissivo	Ejercicios de respuesta única tipo Hot Potatoes
		TICs con enfoque socio -constructivista	Mapas conceptuales y programas de modelización

¿QUÉ PAPEL PUEDEN JUGAR LAS DIFERENTES HERRAMIENTAS DIGITALES EN EL AULA DE CIENCIAS DESDE EL MARCO DE LA PRÁCTICA CIENTÍFICA?

El marco de la práctica científica (NRC, 2012; Osborne, 2014) es un marco didáctico para concebir los procesos de enseñanza y aprendizaje, que no se centra solamente en el conocimiento de contenidos (productos de la ciencia) sino también en las principales prácticas sociales, cognitivas y discursivas con las que la ciencia profesional investiga, argumenta y construye modelos y teorías sobre el mundo (los procesos de la ciencia). Según Bybee (2011), las 8 principales prácticas científicas pasan por plantearse preguntas sobre fenómenos relevantes, desarrollar y usar modelos científicos, planificar y desarrollar investigaciones, interpretar datos experimentales, usar pensamiento computacional y matemático, construir explicaciones y soluciones, argumentar científicamente en base a pruebas y comunicar a la comunidad los resultados. Este marco, que ha tenido una fuerte repercusión en el currículum de EE.UU., mantiene una estrecha relación con el marco de la actividad científica escolar (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). Además, según Crujeiras & Jiménez-Aleixandre (2012) son compatibles con las tres grandes dimensiones de la competencia científica de PISA (explicar fenómenos, evaluar y diseñar indagaciones, e interpretar datos y probar científicamente).

En base a los esquemas de la actividad científica propuestos por Osborne (2014), Garrido (2016) sitúa las tres dimensiones interdependientes de la práctica científica propuestos por Duschl & Grandy (2012): la modelización (construir teorías y modelos), la indagación (recoger y analizar datos provenientes de observaciones o experimentos) y la argumentación (evaluación de pruebas y construcción de argumentos), que presentamos en la Figura 1:

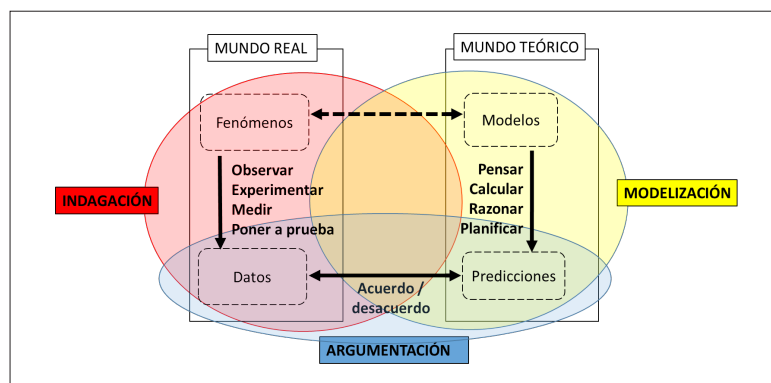


Fig. 1. Esquema de la actividad científica.

A su vez, podemos identificar algunos elementos de la práctica científica que toman una especial relevancia cuando se introducen algunas TIC en el aula de ciencias:

1. *“Indagar”, también en el mundo virtual:* Si bien la dimensión indagación corresponde a operar en el mundo real (ya que parte de los fenómenos del mundo real para investigarlos), en las clases de ciencia se usan simulaciones o laboratorios virtuales como sucedáneos, y se pide a los estudiantes que observen, recojan datos e incluso que diseñen experimentos con micro-mundos virtuales (ChemLab, Algodoos, etc.). Si bien toda simulación no es más que la expresión computacional de un modelo científico (y por lo tanto, que funciona con las reglas del juego con las que ha sido diseñada), existe una creciente tradición de uso de estas herramientas, especialmente cuando se quieren superar algunas restricciones (coste, peligrosidad, tiempo, espacio, etc.), o bien cuando expresan no solo fenómenos sino elementos abstractos (partículas, vectores, líneas de campo, etc.) (Hofstein & Lunetta, 2004).

2. *Comparar y contrastar realidad y virtualidad*: Esta disyuntiva entre lo que los estudiantes pueden medir directamente del mundo real (por ejemplo, con sensores que conllevan siempre un error experimental) y lo que pueden obtener del mundo virtual (por ejemplo, con simulaciones que siempre se comportan con las reglas del juego con las que han sido diseñadas) es crucial no solo para comprender mejor el contenido conceptual, sino también el contenido epistémico.
3. *Expresar modelos con soporte digital y lenguaje computacional*: Igual como ocurre en la ciencia profesional (con los superordenadores que permiten trabajar con sofisticados modelos computacionales), en la ciencia escolar el soporte digital también abre nuevas puertas (Lawrence, 2004; Mellar, Bliss, Boohan, Ogborn, & Tompsett, 1994): mediante interfaces y lenguajes específicamente diseñados para la modelización (Modelus, Stella, VnR o Coach-Modeling), mediante generadores de mapas conceptuales, mediante lenguajes de programación (Scratch, LegoWeDo, etc.), o incluso mediante herramientas ofimáticas.
4. *Colaborar, discutir y argumentar mediante herramientas digitales*: Las herramientas colaborativas (foros, chats, wikis, Padlet, sistemas de votación, etc.) pueden incrementar cualitativa y cuantitativamente el número y tipo de interacciones entre estudiantes y con el profesorado, siempre que se usen adecuadamente (Romero & Quesada, 2014). Además, la Pizarra Digital Interactiva puede convertirse en un espacio común de representación y construcción del conocimiento científico (Hennessy & London, 2013).

En base a estos elementos, proponemos un nuevo diagrama (Figura 2), así como una clasificación de las TIC para las clases de ciencias, que se dividen en cuatro grandes grupos (Tabla 2).

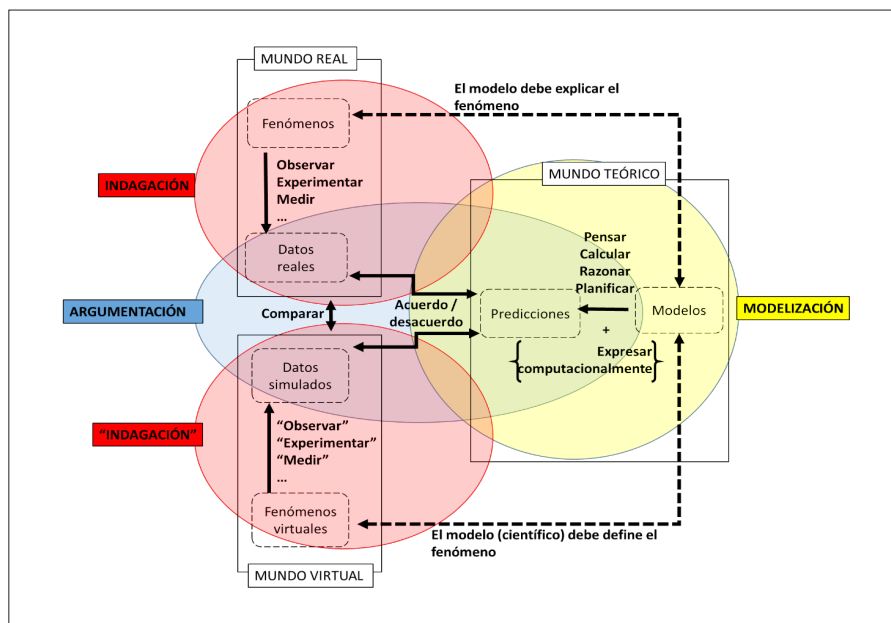


Fig. 2. Esquema de la actividad científica escolar incorporando TICs.

Tabla 2.
Clasificación de las TIC desde el marco de la práctica científica.

DIMENSIÓN PRÁCTICA CIENTÍFICA	TIPO DE TIC	HERRAMIENTAS CONCRETAS
Indagación (mundo real)	Las TIC para la recogida de datos y el análisis experimental de fenómenos reales	Cámaras digitales, Lupas y microscopios digitales, Sensores periféricos, sensores internos del móvil, laboratorios remotos, programas de análisis de video (tipo Tracker), programas de análisis de sonido (tipo Audacity), cámaras remotas en streaming, etc.
“Indagación” (mundo virtual)	Las TIC para la visualización y el análisis experimental de fenómenos virtuales	Animaciones Java, Simulaciones y physlets, visores moleculares, laboratorios virtuales, videojuegos científicos, micro-mundos virtuales de física (tipo Interactive Physics, Physion o Algodoos), de química (ChemLab), entornos virtuales tipo Virtual GreenHouse, QuestAtlantis, WISE, GasLab o ElectroCity, etc.
Modelización	Las TIC para la expresión de modelos con soporte digital	Dispositivos táctiles para la expresión gráfica de modelos (tablet, PDI, etc), editores de mapas conceptuales, Programas diseñados para la modelización computacional (Modellus, VnR, Stella, NetLogo, etc.), lenguajes de programación (tipo Scratch o Alice).
Argumentación	Las TIC para la argumentación y la comunicación en el aula de ciencias	Herramientas para trabajo colaborativo (tipo Drive, Wikis, Patlet etc), redes sociales, Pizarra Digital conectada a dispositivos personales, apps específicas para la interacción, sistemas de votación online, etc.

¿CÓMO Y CUÁNDO UTILIZAR ESTAS HERRAMIENTAS EN UNA SECUENCIA DIDÁCTICA?

El uso de TICs está estrechamente ligado al diseño de secuencias didácticas. A pesar de la variedad de enfoques didácticos (según la tradición más orientada a la actividad manual, al rigor académico, al cambio conceptual, etc.), y según la dimensión de práctica científica privilegiada (indagación o IBSE (Minner, Levy, & Century, 2010), modelización (Justi, 2006), modelización basada en la indagación (Pintó, Couso, & Hernández, 2010), indagación basada en modelos (Windschitl, Thompson, & Braten, 2008), etc.), ¿es posible identificar algunos momentos clave comunes de cualquier diseño didáctico? A nuestro entender, siempre que se den unas premisas mínimas (un enfoque socio-constructivista, una clara relevancia del fenómeno natural y del contenido conceptual, y una concepción la clase de ciencias como una actividad discursiva), podemos definir un mínimo de cinco momentos didácticos **clave**, según lo que hace el estudiante y a qué va dirigido. Estos momentos no tienen por qué darse siempre en un mismo orden concreto, pero deberían estar presentes en algún momento de toda secuencia, siempre que las condiciones de aula lo permitan. Basándonos en la clasificación de la Tabla 2, en la Tabla 3 presentamos brevemente qué tipo de herramientas pueden ser especialmente privilegiadas para cada uno de estos cinco momentos clave, cosa que no impide usos combinados o variantes de esta primera aproximación. En la columna de la derecha presentamos un ejemplo de uso de TICs en una secuencia didáctica concreta sobre acústica, diseñada para estudiantes de 2º de Bachillerato de Física.

Tabla 3.
Relación entre el tipo de TICs y los momentos clave de una secuencia didáctica.

MOMENTO CLAVE	DIRIGIDO A...	TICS PRIVILEGIADAS	EJEMPLO (¿QUÉ HACE EL ESTUDIANTE?)
Expresar las ideas propias	... cuestionarse a uno mismo	Las TIC para la argumentación y comunicación en el aula de ciencias	Responder, con el móvil, un Kahoot sobre sonido, ondas y fenómenos acústicos, para luego calcular y reflejar sus ideas previas en la Pizarra Digital.
Recoger datos experimentales	... preguntar al fenómeno	Las TIC para la recogida de datos y el análisis experimental de fenómenos reales	Registrar y medir con Audacity diferentes sonidos producidos en el aula, para luego calcular y analizar las diferentes frecuencias y amplitudes.
Compartir nuevos puntos de vista	... preguntar a los compañeros/as	Las TIC para la argumentación y comunicación en el aula de ciencias	Dibujar en la Tablet una representación de la función de onda, para luego compartirla por wifi con toda la clase mediante la Pizarra Digital.
Recoger la visión experta	... preguntar a la propia ciencia	Las TIC para la visualización y análisis experimental de fenómenos simulados	Analizar una simulación PhET en la que se observa la vibración de las partículas del aire cuando se propaga el sonido, controlando los cambios de frecuencia y amplitud para observar qué sucede.
Consensuar y estructurar	... construir una respuesta	Las TIC para la expresión de modelos con soporte digital	Crear un pequeño modelo computacional con Scratch sobre sonido, que conecte el comportamiento macroscópico del sonido con el comportamiento microscópico de las partículas.

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el MINECO (EDU2015-66643-C2-1-P) y por el grupo de investigación TIREC.

BIBLIOGRAFÍA

- BYBEE, R. (2011). Scientific and Engineering Practices in K-12 Classrooms: Understanding “A Framework for K-12 Science Education.” *Science Teacher*, 78(1), 34–40.
- CRUJEIRAS, B., & JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. Aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pasta de dientes. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 72, 12–19.
- DUSCHL, R. A., & GRANDY, R. E. (2012). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science & Education*, 22, 2109–2139.
- GARRIDO, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- HENNESSY, S., DEANEY, R., & RUTHVEN, K. (2006). Situated Expertise in Integrating Use of Multimedia Simulation into Secondary Science Teaching. *International Journal of Science Education*, 28(7), 701–732.
- HENNESSY, S., & LONDON, L. (2013). Learning from International Experiences with Interactive Whiteboards: The role of professional development in integrating the technology. *OECD Education Working Papers*, (89), 33.
- HENNESSY, S., WISHART, J., WHITELOCK, D., DEANEY, R., BRAWN, R., VELLE, L., ... WINTERBOTTOM, M. (2007). Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. *Computers and Education*, 48(1), 137–152.

- HOFSTEIN, A., & LUNETTA, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28–54.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M., & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, 27–43.
- JIMOYIANNIS, A. (2010). Designing and implementing an integrated technological pedagogical science knowledge framework for science teachers professional development. *Computers & Education*, 55(3), 1259–1269.
- JUSTI, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 24(2), 173–184.
- LAWRENCE, I. (2004). Modelling simply , without algebra: beyond the spreadsheet. *Physics Education*, 39(2003), 281–288.
- LIU, S.-H. (2011). Factors related to pedagogical beliefs of teachers and technology integration. *Computers & Education*.
- MELLAR, H., BLISS, J., BOOHAN, R., OGBORN, J., & TOMPSETT, C. (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. London: Falmer Press.
- MINNER, D. D., LEVY, A. J., & CENTURY, J. (2010). Inquiry-based science instruction-what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496.
- NRC. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* ISBN. Washington, DC.: National Academy of Sciences.
- OSBORNE, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 177–196.
- PAPERT, S. (1999). What is Logo? And who needs it? In *Logo Philosophy and Implementation* (p. V – XVI.). Vermont: Logo Computer Systems Inc.
- PINTÓ, R. (2009). Choosing ICT: a matter of learning about learning Science. In P. Kariotoglou, A. Spyrtou, & A. Zoupidis (Eds.), *Πρακτικά του Συνεδρίου*. Florin (Greece): School of education, University of Western Macedonia.
- PINTÓ, R., COUSO, D., & HERNÁNDEZ, M. I. (2010). An Inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning Papers*, 20.
- PINTÓ, R., & GUTIERREZ, R. (2004). Analysing Computer Scientific Simulations from a didactical point of view. In E. Mechlová (Ed.), *Teaching and Learning Physics in New contexts*. Ostrava (Czech Republic): University of Ostrava.
- ROMERO, M., & QUESADA, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación Y Experiencias Didácticas*, 32(1), 101–115.
- SASSI, E., MONROY, G., & TESTA, I. (2005). Teacher training about real-time approaches: Research-based guidelines and training materials. *Science Education*, 89(1), 28–37.
- VALIENTE, O. (2010). 1-1 in Education: Current Practice, International Comparative Research Evidence and Policy Implications. *OECD Education Working Papers*, 44, 20.
- WEBB, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education*, 27(6), 705–735.
- WINDSCHITL, M., THOMPSON, J., & BRAATEN, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967.
- ZHAO, Y. (2003). What teachers need to know about technology? Framing the question. In Y. Zhao (Ed.), *What Should Teachers Know about Technology?: Perspectives and Practices* (pp. 1–21). Information Age Publishing.

